



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker. Delrapport 13: Sammenligninger, vurderinger og konklusioner

Hansen, Lars Pilegaard; Rathkjen, Arne

Publication date:
1993

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Hansen, L. P., & Rathkjen, A. (1993). *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker. Delrapport 13: Sammenligninger, vurderinger og konklusioner*. Aalborg Universitetsforlag. R : Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet Nr. R9318

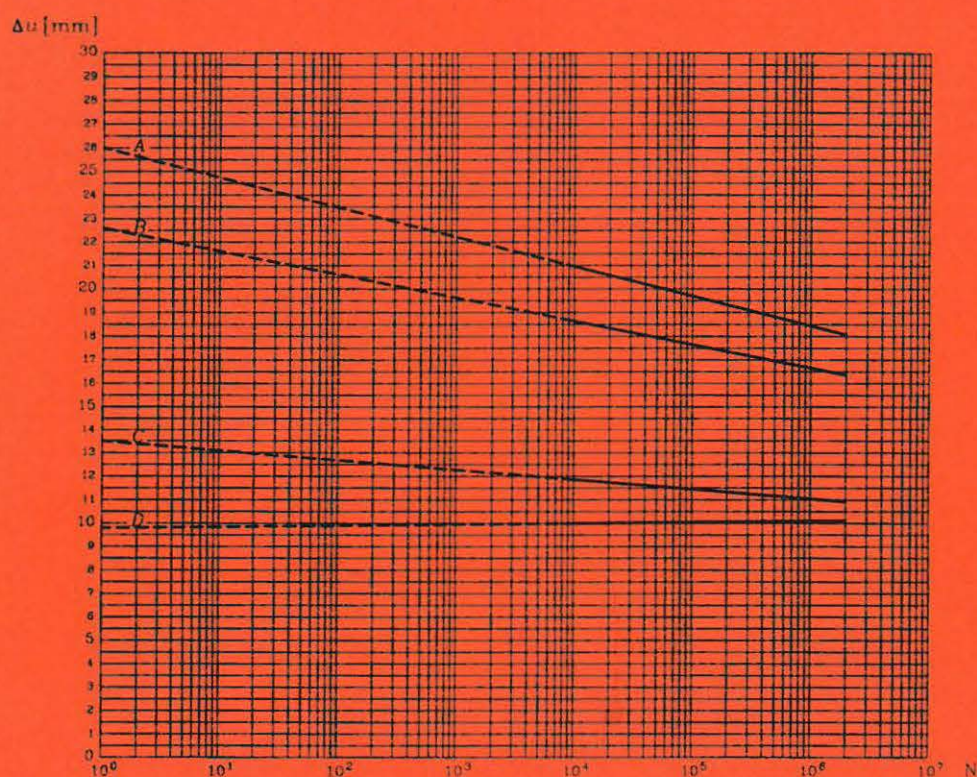
General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK

DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER • AUC • AALBORG • DANMARK

L. PILEGAARD HANSEN & A. RATHKJEN
UDMATTELSESFORSØG MED LAMINEREDE LIMTRÆBJÆLKER
DELRAPPORT 13: SAMMENLIGNINGER, VURDERINGER OG KON-
KLUSIONER
JUNI 1993

ISSN 0902-7513 R9318

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. INDLEDNING	1
2. SAMMENLIGNINGER	2
2.1 Lamelhældningens indflydelse	2
2.2 Forstærkede bjælker	6
2.3 Skråskaring i træksiden	11
2.4 Forskellige træarter	11
2.5 Skadeindikation	14
3. VURDERINGER OG KONKLUSIONER	18
3.1 Normerede Wöhlerkurver	18
3.2 Kraftdifferenser	20
3.3 Fiberhældningens betydning	24
3.4 Afsluttende bemærkninger	24
4. REFERENCER	25

1. INDLEDNING

Laminerede limtræbjælkers udmattelsesegenskaber er undersøgt i en række forsøg i årene 1987-1991. De første indledende forsøg, udført i 1987-1989, er rapporteret i [1], mens de resterende forsøg behandles i nærværende rapport: "Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker", se [2]–[14]. Rapporten er delt i følgende delrapporter:

- Delrapport 1 : – Forsøgsbeskrivelse
- Delrapport 2-11 : – Prøvning af serie A–K
- Delrapport 12 : – Materialeprøvninger
- Delrapport 13 : – Sammenligninger, vurderinger og konklusioner

Delrapport 1 indeholder en generel beskrivelse af prøvebjælkerne og en oversigt over de forskellige bjælkeserier samt beskrivelse af forsøgsopstilling, forsøgsafvikling og foretagne målinger.

Delrapporterne 2-11 indeholder specielle oplysninger om prøvelegemer og forsøgsafvikling samt måleresultater for hver bjælke i de enkelte serier.

Delrapport 12 indeholder resultater af enaksede træk- og trykprøver, udført på prøvelegemer, som er udskåret af bjælkerne, efter at udmattelsesprøvningen er foretaget.

Endelig indeholder delrapport 13 sammenligninger, vurderinger og konklusioner vedrørende alle måleresultater.

2. SAMMENLIGNINGER

På grundlag af de i delrapporterne 2–12 anførte forsøgsresultater skal der i dette afsnit foretages nogle sammenligninger. I afsnit 2.1 sammenlignes resultater for bjælker med forskellige hældninger af lameller og dermed forskellige fiberhældninger i forhold til bjælkeaksen. I afsnit 2.2 beskrives virkningen af at forsyne bjælker med skrå lameller med en forstærkning i træksiden, mens afsnit 2.3 omhandler virkningen af en samling, en skråskaring, i underste lamel i bjælker med lameller parallelle med bjælkeaksen. Sammenligning af forskellige træarter findes i afsnit 2.4, og endelig er der i afsnit 2.5 sammenlignet elasticitetsmoduler, som de er målt før samt eventuelt under og efter forsøgene.

Da et udmattelsesforsøg ved disse forsøg maksimalt varer ca. 3 døgn, er der ikke gjort forsøg på at tage hensyn til den styrkereduktion, som for træ finder sted med tiden.

2.1 Lamelhældningens indflydelse

I delrapporterne 2, 3, 4 og 5 er prøvning af serierne A, B, C og D beskrevet.

Lamelhældningen for de enkelte serier er som angivet i tabel 2.1

Serie	Hældning
A	0
B	1:20 ~ 2,86°
C	1:10 ~ 5,71°
D	1:5 ~ 11,31°

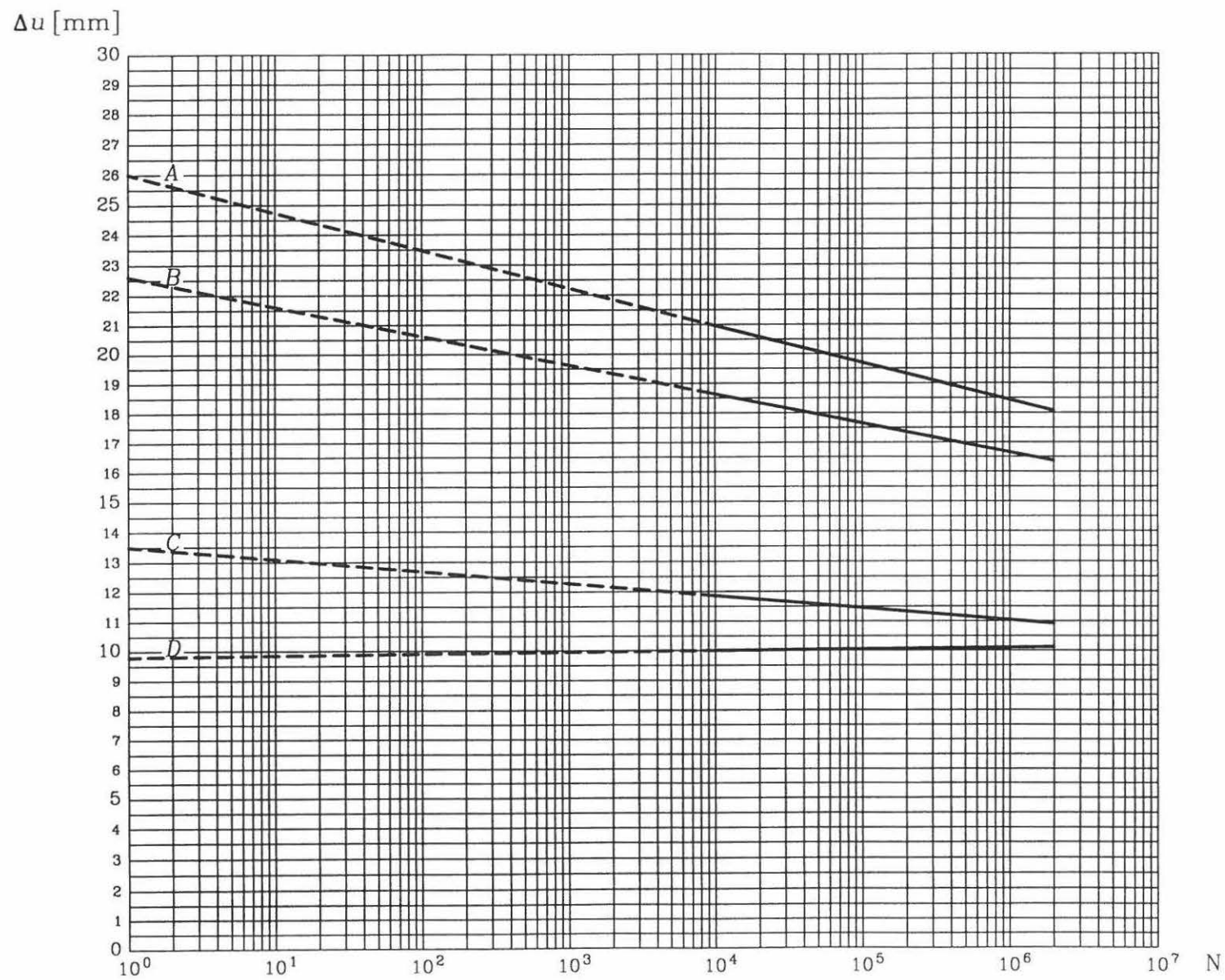
Tabel 2.1

En Wöhlerkurve er her defineret som sammenhængen mellem antallet af svingninger til brud, N , og udsvingsvidden Δu i mm. Den bedste retliniede sammenhæng er for de fire serier angivet i tabel 2.2.

Serie	Wöhlerkurve (Δu i mm)
A	$\Delta u = 26,0 - 1,26 \log N$
B	$\Delta u = 22,6 - 0,99 \log N$
C	$\Delta u = 13,5 - 0,41 \log N$
D	$\Delta u = 9,8 + 0,05 \log N$

Tabel 2.2

De 4 Wöhlerkurver er indtegnet i figur 2.1. Det fremgår, at den maksimale udsvingsvidde Δu , svarende til et givet antal svingninger N , falder med voksende fiberhældning. Det fremgår yderligere, at hældningen af Wöhlerkurven ændres med fiber-



Figur 2.1. Wöhlerkurver for serie A, B, C og D

hældningen, så der for serie D endog må konstateres en positiv hældning, dog kun lidt større end nul.

Hankinsons formel

$$S_{\theta} = \frac{S_0 S_{90}}{S_0 \sin^2 \theta + S_{90} \cos^2 \theta}$$

hvor S er en materialeegenskab som f.eks. tryk- eller trækstyrke eller stivhed og

S_0 er egenskaben for $\theta = 0^\circ$

S_{90} er egenskaben for $\theta = 90^\circ$

S_{θ} er egenskaben for $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$

angiver en ofte benyttet lovmæssig sammenhæng mellem en egenskab S og fiberhældningen θ .

Antages det, at den udsvingsvidde der til et givet antal svingninger svarer til brud, følger Hankinsons formel, skal man have

$$\Delta u_{\theta} = \frac{\Delta u_0 \Delta u_{90}}{\Delta u_0 \sin^2 \theta + \Delta u_{90} \cos^2 \theta}$$

eller på dimensionsløs form

$$\frac{\Delta u_{\theta}}{\Delta u_0} = \frac{\Delta u_{90}/\Delta u_0}{\sin^2 \theta + \Delta u_{90} \cos^2 \theta / \Delta u_0} \quad (1)$$

hvor Δu_{90} , den maksimale udsvingsvidde ved en fiberhældning på 90° er ukendt.

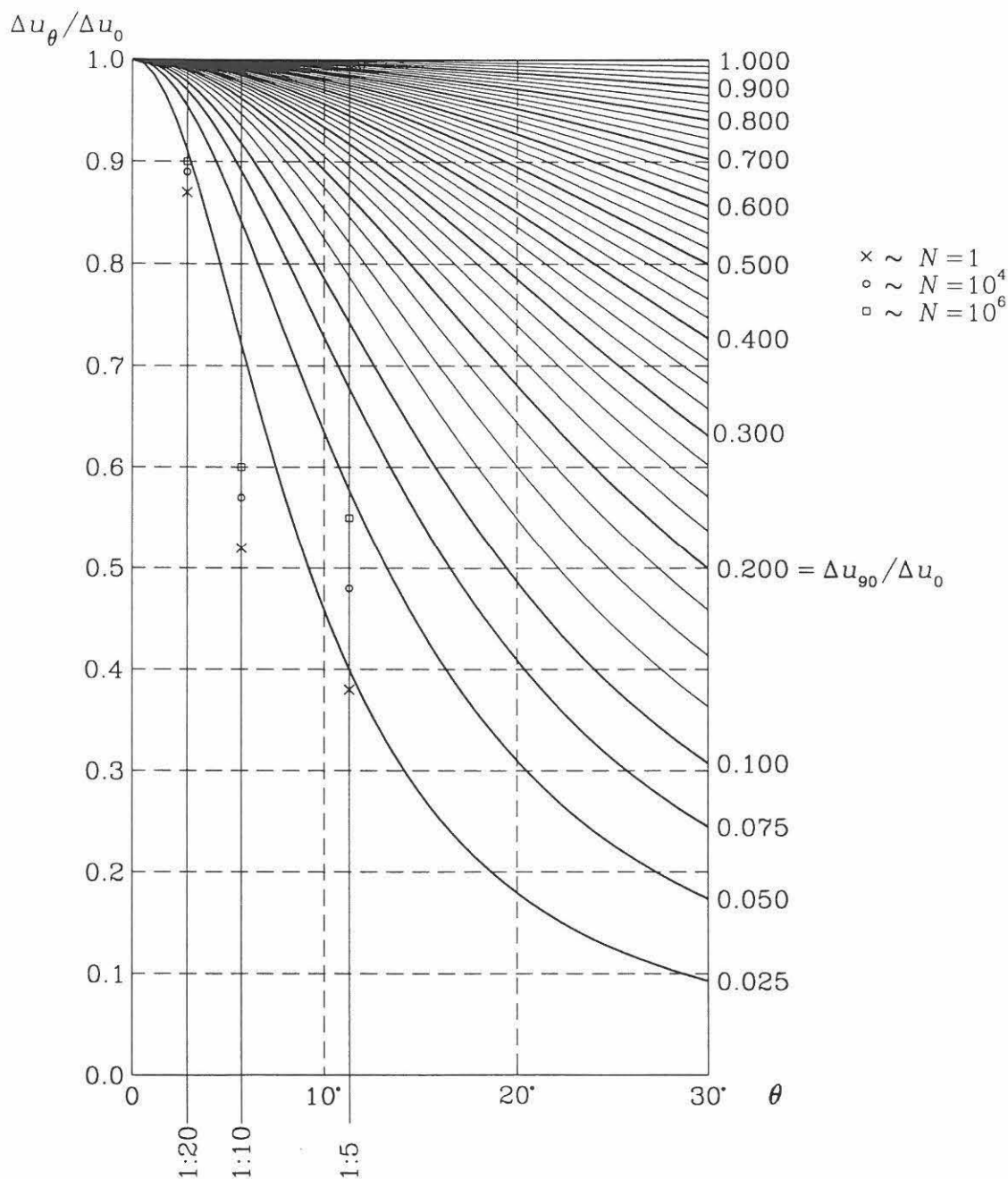
I figur 2.2 er kurver for $\Delta u_{\theta}/\Delta u_0$ efter (1) optegnet for forskellige værdier af $\Delta u_{90}/\Delta u_0$. Punkter svarende til $N = 1$, $N = 10^4$ og $N = 10^6$ efter udtrykkene for Wöhlerkurverne i tabel 2.2 er beregnet i tabel 2.3 og afsat i figur 2.2.

Serie	Hældning	$N = 1$		$N = 10^4$		$N = 10^6$	
		Δu_{θ}	$\Delta u_{\theta}/\Delta u_0$	Δu_{θ}	$\Delta u_{\theta}/\Delta u_0$	Δu_{θ}	$\Delta u_{\theta}/\Delta u_0$
A	0	26,0	1	21,0	1	18,4	1
B	1:20	22,6	0,87	18,6	0,89	16,7	0,90
C	1:10	13,5	0,52	11,9	0,57	11,0	0,60
D	1:5	9,8	0,38	10,0	0,48	10,1	0,55

Tabel 2.3

Det ses, at forsøgsresultaterne passer bedst med Hankinsons formel for en værdi af $\Delta u_{90}/\Delta u_0$ på omkring 0,025. Denne værdi er i udmærket overensstemmelse med resultaterne fra forsøg med roligt voksende last, refereret i [15]. Forsøgene i [15] omfatter

bl.a. bestemmelse af træk- og trykstyrker vinkelret på fiberretningen samt træk og tryk parallelt med fiberretningen. Forholdet mellem disse styrker varierer mellem 0,06 og 0,15. At styrken ved roligt voksende last er større end ved vekslende last forekommer rimeligt.



Figur 2.2 Hankinsonkurver.

2.2 Forstærkede bjælker

Da virkningen af en fiberhældning i forhold til bjælkeaksen er en reduktion af udmattelsesstyrken, har det interesse at undersøge om en forstærkning kan afhjælpe dette forhold. Bjælkerne i serie E, F og G er derfor forstærket i træksiden med en 5 mm lamel, parallel med bjælkeaksen, og bjælkerne i serie H og I er forstærket i træksiden med et ca. 1 mm tykt epoxy lag.

Udtryk for Wöhlerkurver for bjælkerne i serie E, F og G er anført i tabel 2.4.

Serie	Wöhlerkurve (Δu i mm)
E	$\Delta u = 23,7 - 1,04 \log N$
F	$\Delta u = 24,6 - 1,59 \log N$
G	$\Delta u = 23,4 - 0,70 \log N$

Tabel 2.4

En oversigt over sammenhørende fiberhældninger, forstærkninger og bjælkebetegnelser er vist i tabel 2.5.

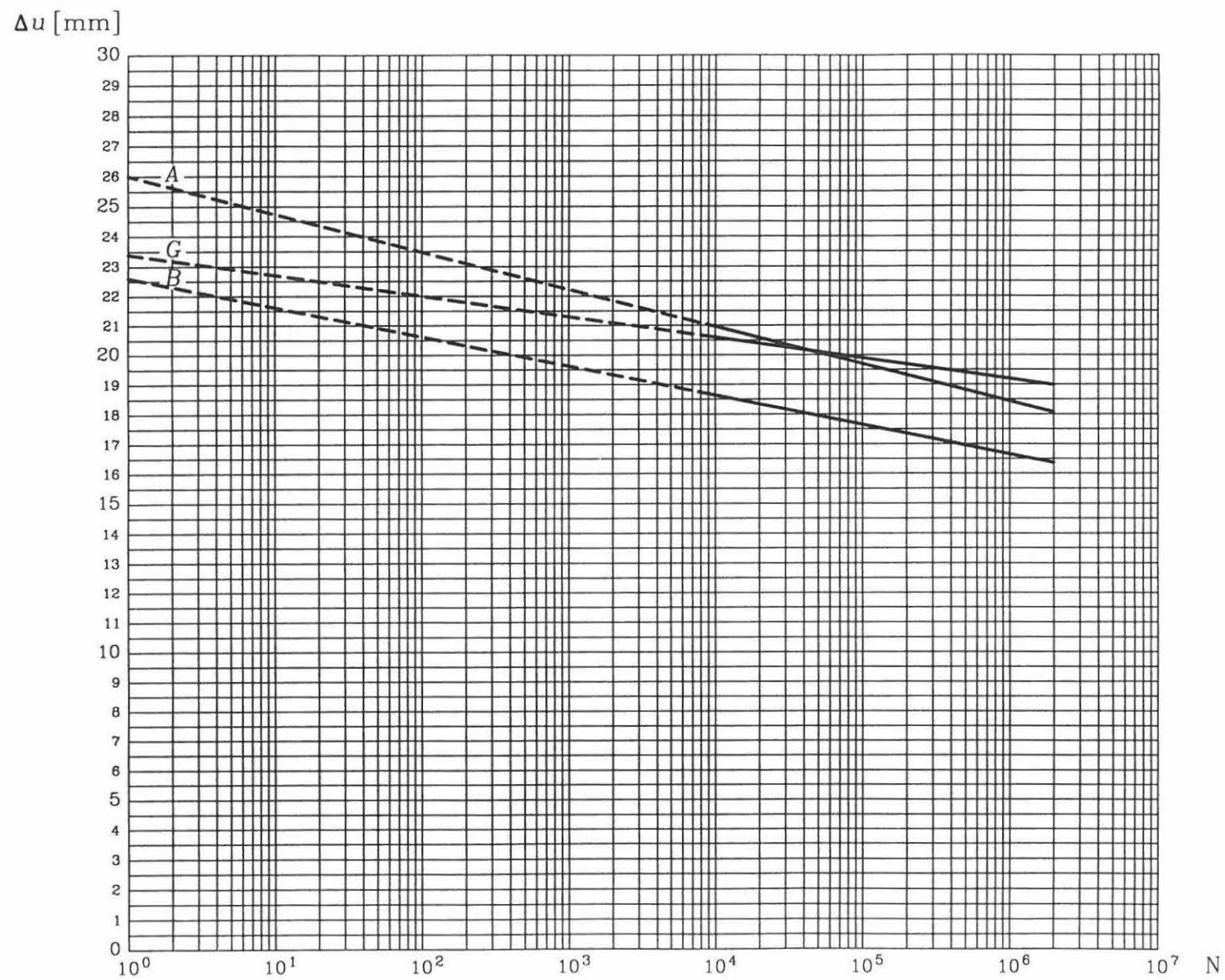
Hældning	Forstærkning		
	ingen	lamel	epoxy
1:20	B	G	–
1:10	C	E	H
1:5	D	F	I

Tabel 2.5

I figurerne 2.3, 2.4 og 2.5 er Wöhlerkurverne for henholdsvis serie A, B og G, serie A, C og E samt serie A, D og F vist. I figurerne 2.4 og 2.5 er også punkter svarende til forsøgsresultaterne for serie H og I indtegnet.

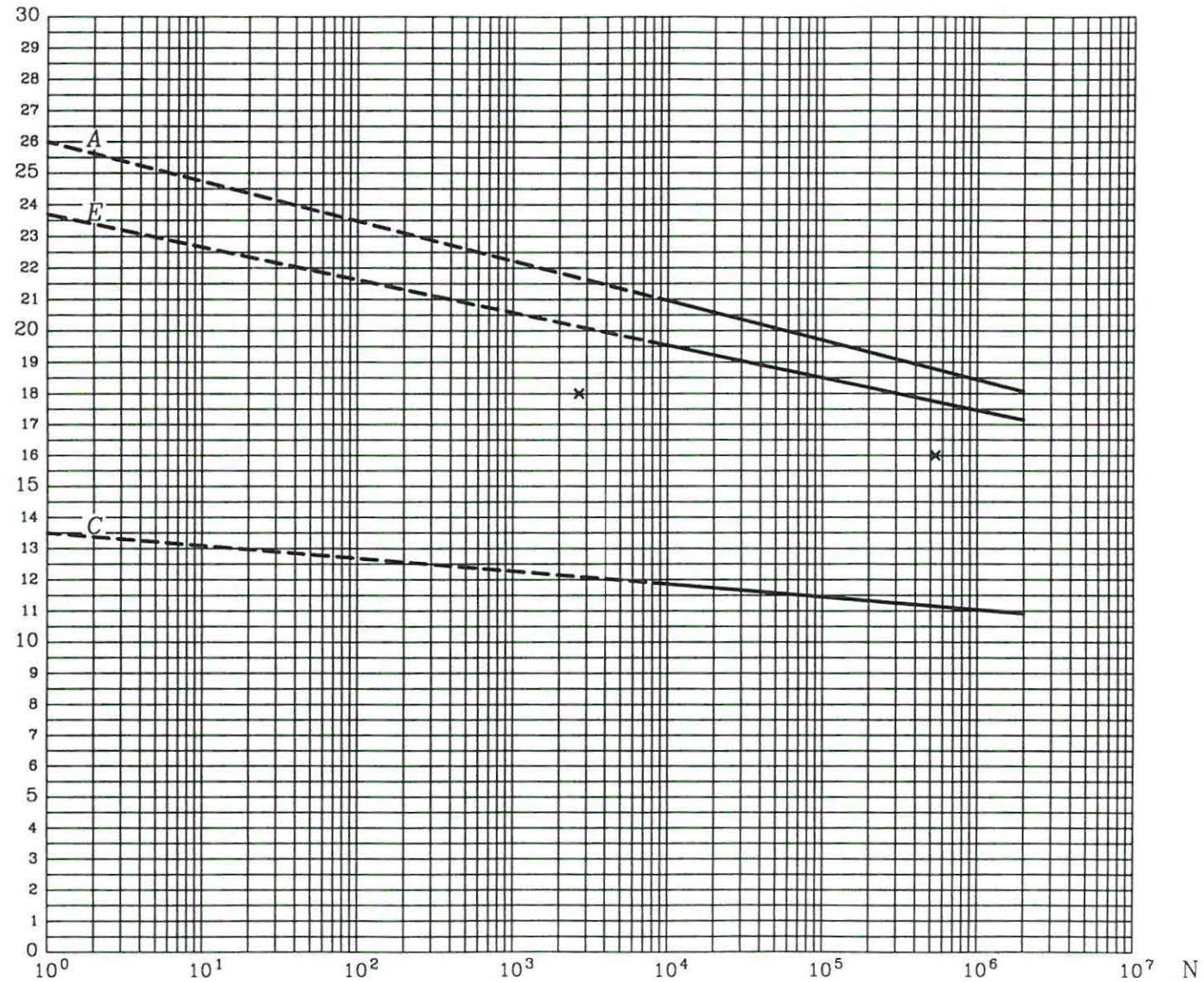
Figurerne viser, at lamelforstærkningen er særdeles effektiv, mens epoxyforstærkningen er noget dårligere, især når fiberhældningen er stor.

I figur 2.6 er Wöhlerkurverne for de 3 lamelforstærkede bjælkeserier E, F og G vist sammen med Wöhlerkurven for serie A, bjælker med fiberhældningen nul. Styrkereduktionen ses at være nogenlunde uafhængig af fiberhældningen i bjælken, og reduktionen er af en størrelsesorden på kun ca. 12–15%.

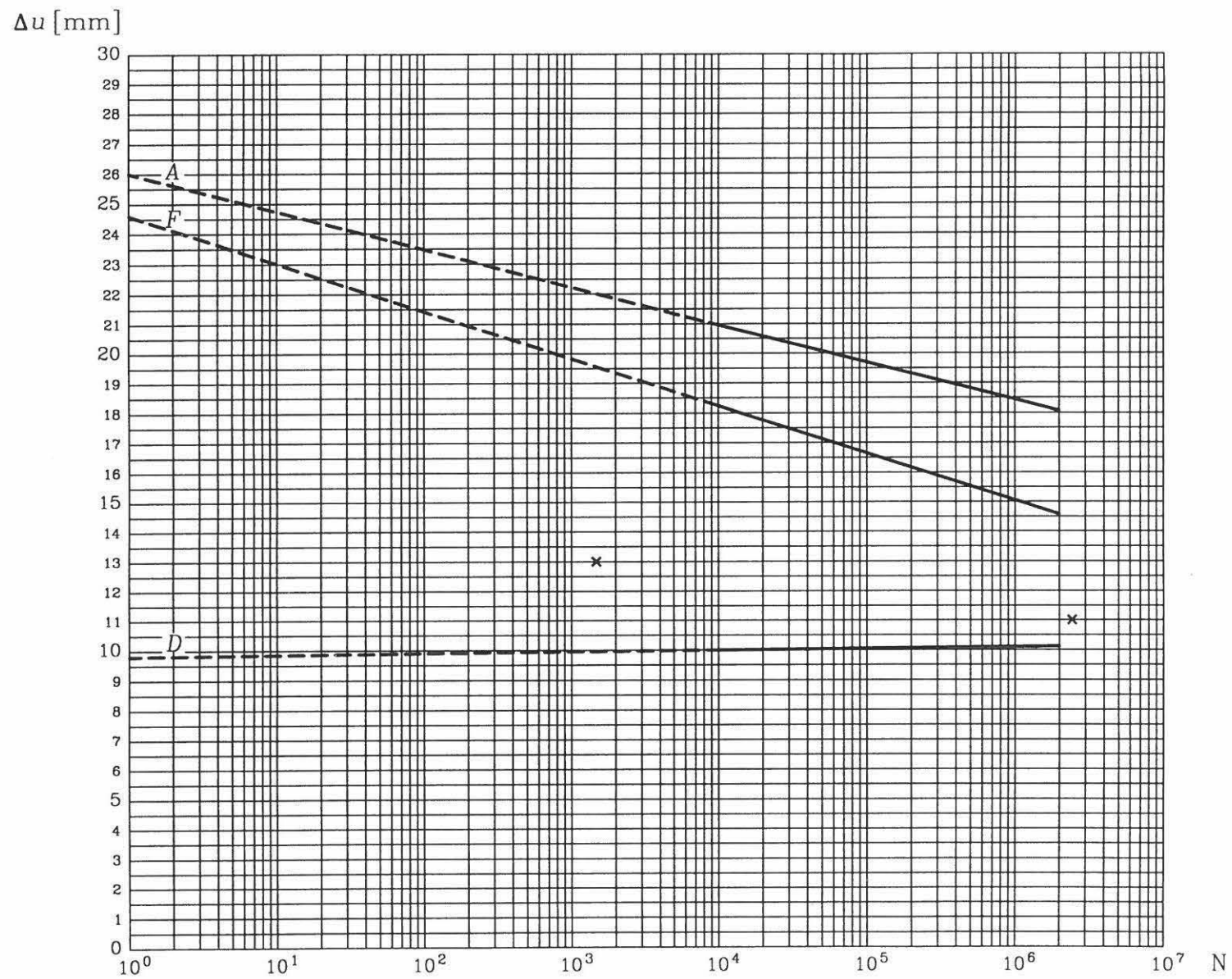


Figur 2.3. Wöhlerkurver for serie A, B, og G

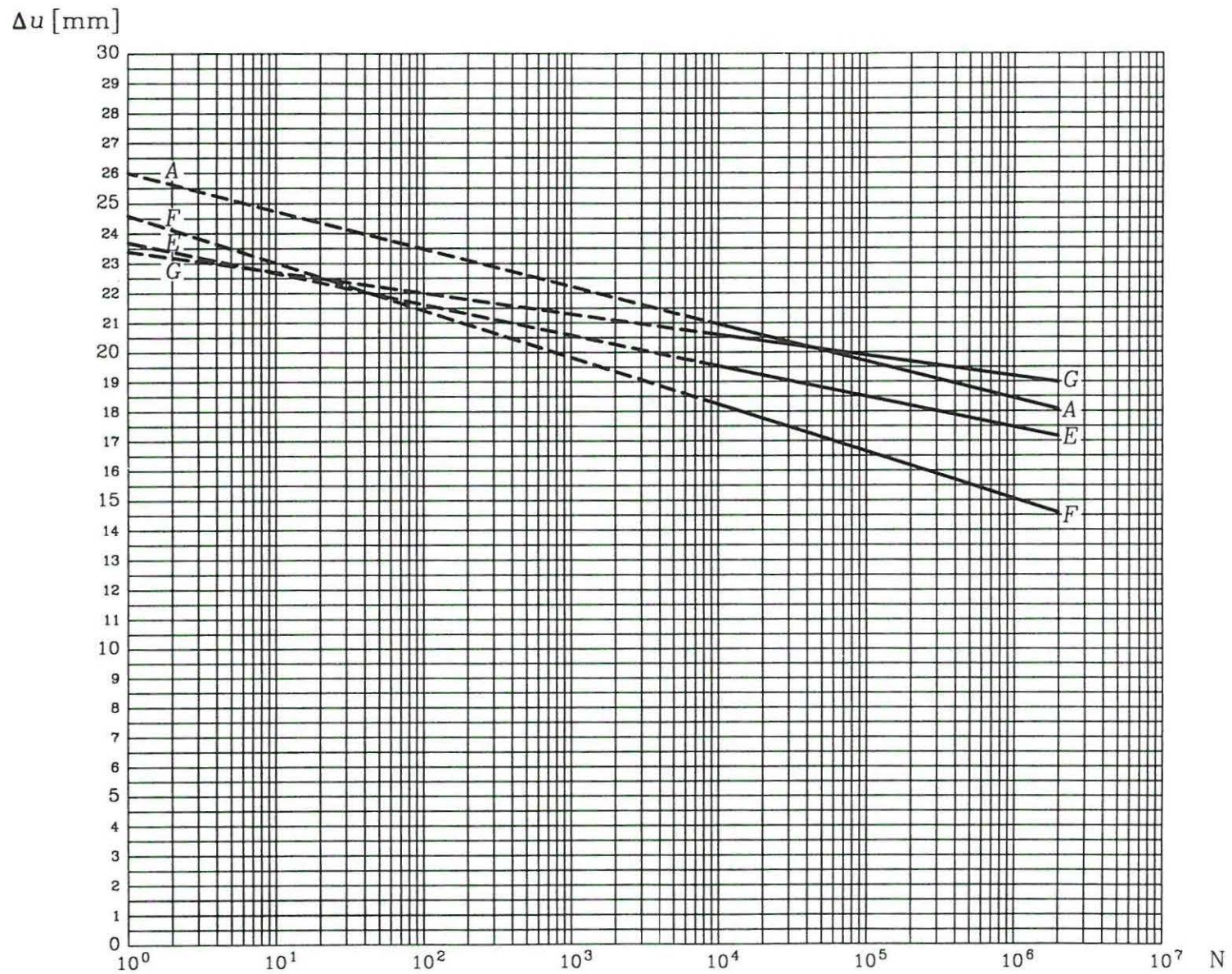
Δu [mm]



Figur 2.4. Wöhlerkurver for serie A, C og E



Figur 2.5. Wöhlerkurver for serie A, D og F



Figur 2.6. Wöhlerkurver for serie A, E, F og G

2.3 Skråskaring i træksiden

Bjælkerne i serie K har alle en lamelsamling i træksiden. Lamellerne er i øvrigt parallelle med bjælkeaksen. Bjælkerne i denne serie har dimensionerne $b \times h = 65 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ mod den for serie A, B, C, D, E, F, G, H og I benyttede dimension $b \times h = 60 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$. Da forsøgene er flytningsstyrede, antages denne forskel ikke at have nogen betydning ved en sammenligning af Wöhlerkurver for udbøjningsdifferensen Δu . Udbøjningerne er de samme, og da bjælkehøjden er den samme, er også tøjninger og spændinger de samme. Blot må cylinderen yde mere, når bredden er større. Wöhlerkurven er for serie K bestemt til

$$\Delta u = 22,59 - 0,54 \log N$$

og i figur 2.7 er denne kurve vist sammen med kurven for serie A. Man kan ikke af disse forsøg udlede nogen forskel i styrken af bjælker med og bjælker uden skråskaring, og der blev da også kun i 1 tilfælde, bjælke K3, ud af 10, konstateret brud ved en skråskaring.

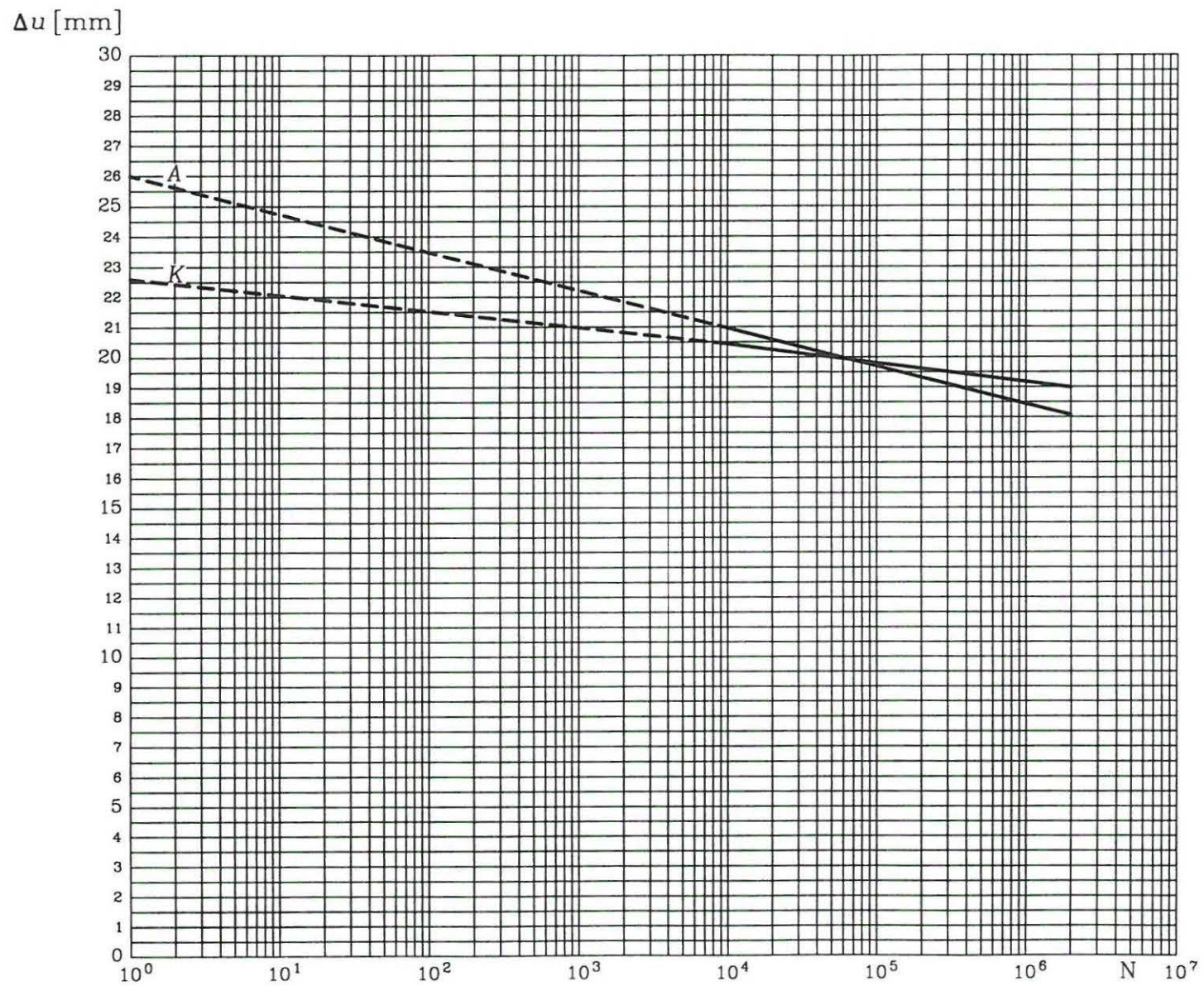
2.4 Forskellige træarter

Mens bjælkerne i serie A, B, C, D, E, F, G, H, I og K er af gran, er bjælkerne i serie J af *Thuja plicata*. Bjælkerne i serie J har fibre parallelle med bjælkeaksen og kan derfor sammenlignes med serie A. Tværsnitsdimensionerne er for serie J $b \times h = 65 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$. På grund af det lille antal regulære forsøgsresultater er der ikke bestemt noget udtryk for en Wöhlerkurve for serie J, men i figur 2.8 er nogle enkeltpunkter indtegnet sammen med Wöhlerkurven for serie A. I tabel 2.6 er fra delrapport 12 gennemsnitlige tryk- og trækstyrker og E-modulen for gran anført sammen med de tilsvarende størrelser for *Thuja plicata*.

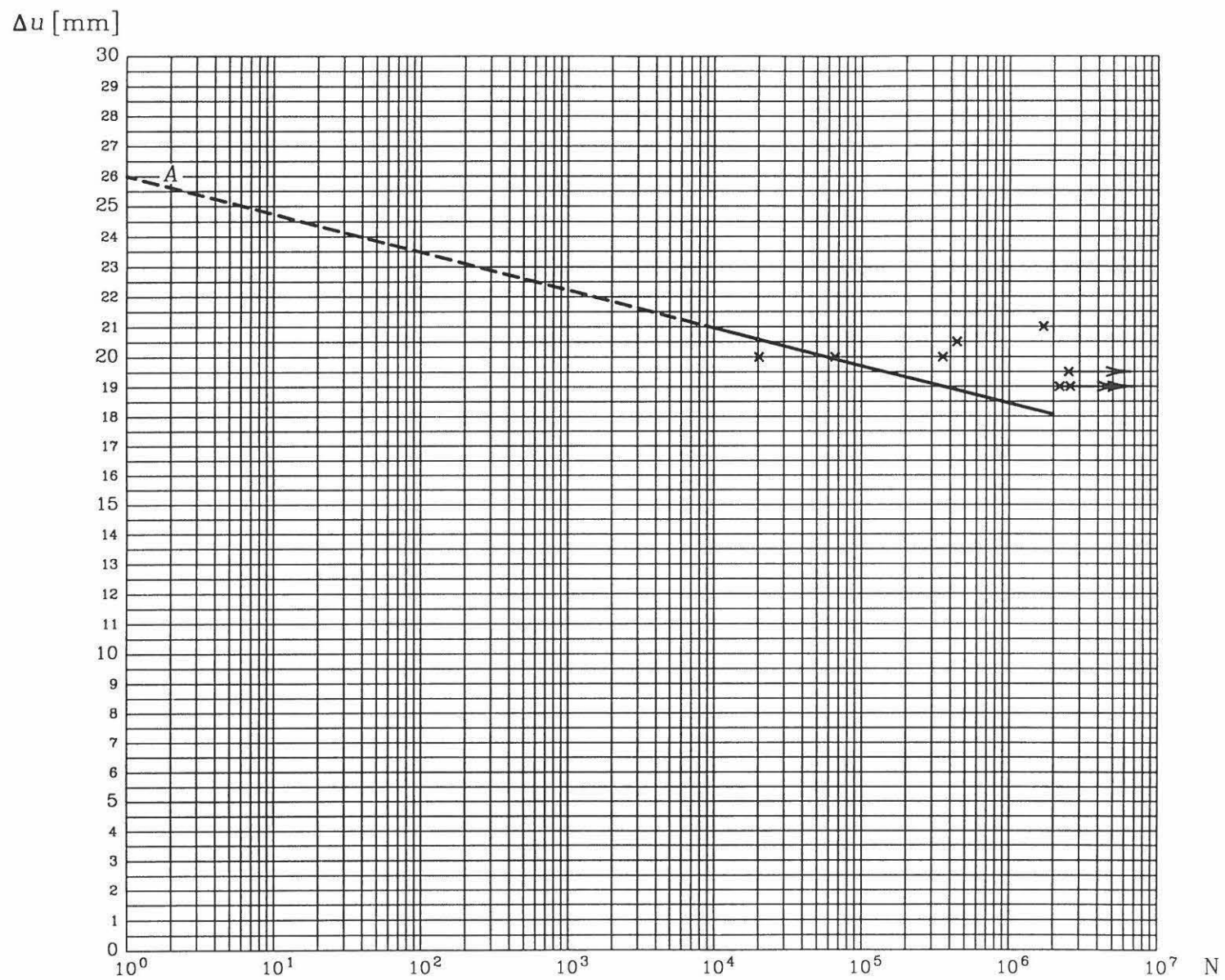
Træart	Trykstyrke MPa	Trækstyrke MPa	Elasticitetsmodul MPa
Gran	48,8	82,8	13.560
<i>Thuja plicata</i>	39,0	53,1	9.850

Tabel 2.6

Selvom gran er både stærkere og stivere end *Thuja* ved disse statiske forsøg, kan man ikke af figur 2.8 udlede, at udmattelsesstyrken for *Thuja* skulle være mindre end udmattelsesstyrken for gran. Forsøgsrækken giver derfor heller ikke mulighed for at relatere udmattelsesstyrken til en hverken tryk- eller trækstyrke.



Figur 2.7. Wöhlerkurver for serie A og K



Figur 2.8. Wöhlerkurve for serie A og enkeltresultater for serie J

2.5 Skadeindikation

Før udmattelsesforsøgene blev der for hver bjælke udført et statisk forsøg til bestemmelse af sammenhængen mellem lasten P og bjælkens udbøjning u (stempelvandring). Et tilsvarende forsøg blev udført efter udmattelsesforsøgene for de bjælker, der ikke blev totalskadede, ligesom sådanne statiske forsøg også blev udført under udmattelsesforsøget, hvis dette blev afbrudt. Sammenhængen mellem P og u er et udtryk for bjælkens stivhed og dermed for bjælkematerialets elasticitetsmodul E .

For udmattelsespåvirkede materialer indføres en skadeindikator D således, at $D = 0$ svarer til det uskadede materiale og $D = 1$ svarer til det totalskadede materiale, som igen svarer til, at konstruktionen er gået i 2 stykker. Et hyppigt anvendt udtryk for skadeindikatoren D er

$$D = 1 - \tilde{E}/E$$

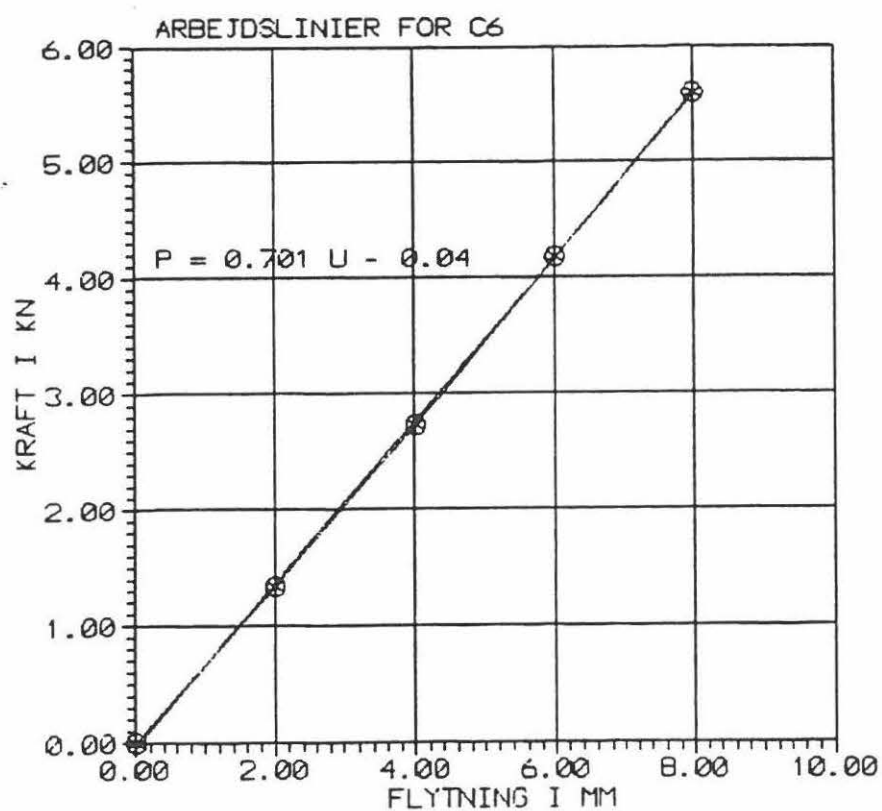
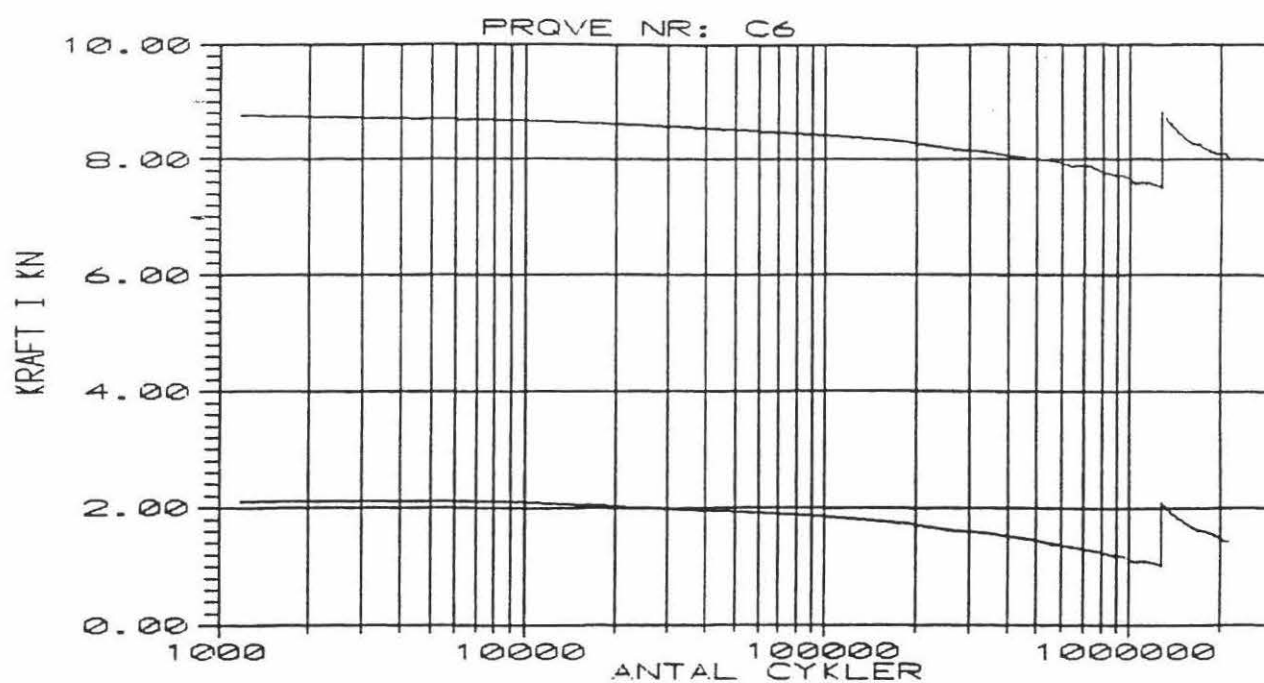
hvor E er det uskadede materiales elasticitetsmodul og \tilde{E} er elasticitetsmodulen af det materiale, der har været udsat for et antal svingningspåvirkninger.

At udtrykket $D = 1 - \tilde{E}/E$ kan benyttes som skadeindikator fremgår af talrige eksempler i delrapporterne 2-11, som viser, at \tilde{E} er praktiske taget lig med E i tilfælde, hvor udmattelsesforsøgene er standset efter godt 2 millioner svingninger, og hvor bjælkerne ikke viser tegn på skader. De nævnte rapporter indeholder ligeledes talrige eksempler på, at \tilde{E} er reduceret i forhold til E , når der er opstået revner eller stukningsbrud i en bjælke.

Der er dog i denne sammenhæng adskillige uafklarede forhold. Ser man således på resultaterne for bjælke C6, her gengivet i figur 2.9, finder man fra den nederste figur, at $\tilde{E} = E$ efter 1.274.587 cykler, dvs. $D \sim 0$. Af den øverste figur fremgår derimod, at den maksimale kraft P_{\max} falder fra ca. 8,8 kN ved 1000 cykler til ca. 7,6 kN ved de 1.274.587 cykler. Der er tilsyneladende forskel på resultaterne ved en måling med roligt voksende last og en måling ved vekslende last. Værdien af skadeindikatoren bliver udregnet efter faldet i P_{\max} : $D = 1 - \tilde{P}/P = 0,14$.

Et andet eksempel på besynderlig opførsel har man i bjælke F24. Resultaterne for denne bjælke er her gengivet i figur 2.10. Det ses af figuren nederst til højre, at $\tilde{E} \cong E$ og hermed $D = 0$ svarende til uskadede bjælke. Figuren til venstre viser den revnede bjælke.

Til slut betragtes bjælke J9, for hvilken resultaterne er gengivet i figur 2.11. I henhold til nederste figur har man efter 404.931 cykler $D = 1 - \tilde{P}/P = 1 - 8,7/9,5 = 0,08$ og efter 442.736 cykler $D = 1 - 5,9/9,5 = 0,38$. Skadeindikatoren vokser altså fra 0,08 til 0,38 i de sidste ca. 10% af bjælkens levetid.



o svarer til forsøgsresultater efter 1.274.587 cykler.

Figur 2.9 Resultater for bjælke C6.

Bjælke F24

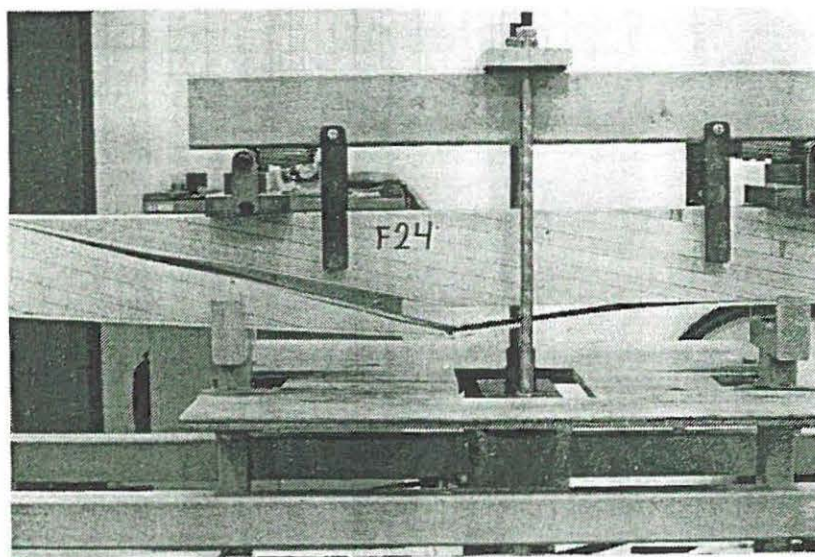
Statisk påvirkning $u = 0 - 10$ mm.

Udmattelsespåvirkning $u = 3 - 17$ mm til $n = 329.524$.

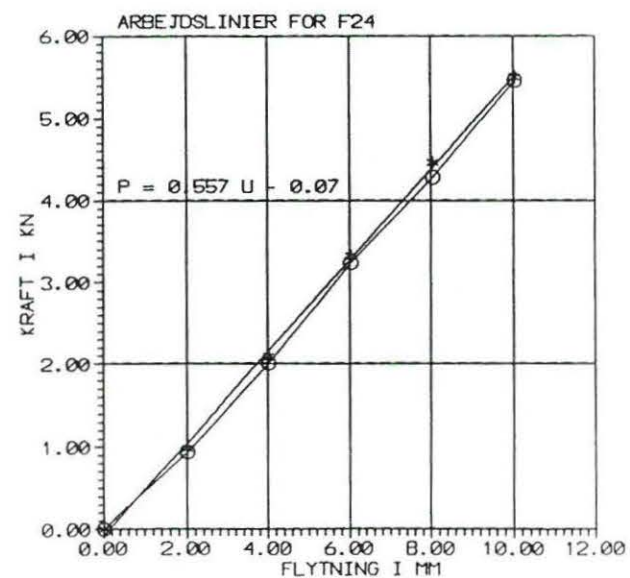
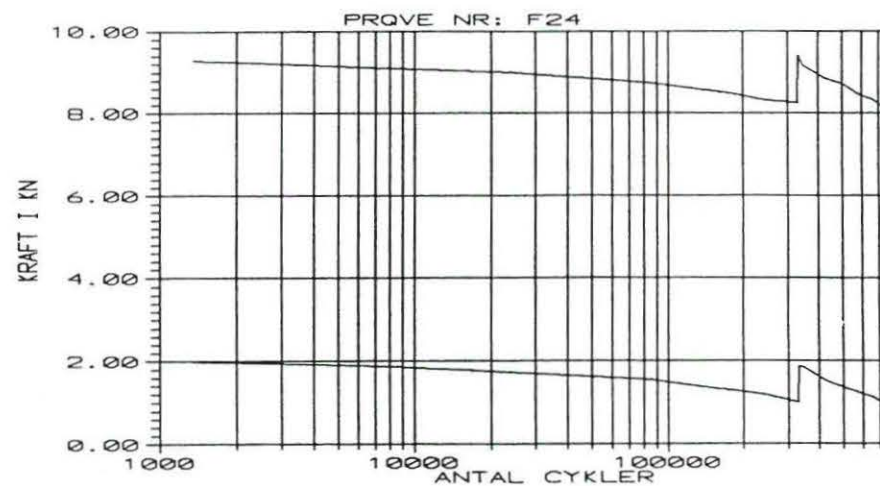
Statisk påvirkning $u = 0 - 10$ mm.

Udmattelsespåvirkning $u = 3 - 17$ mm til $n = 710.287$.

Statisk påvirkning $u = 0 - 10$ mm.

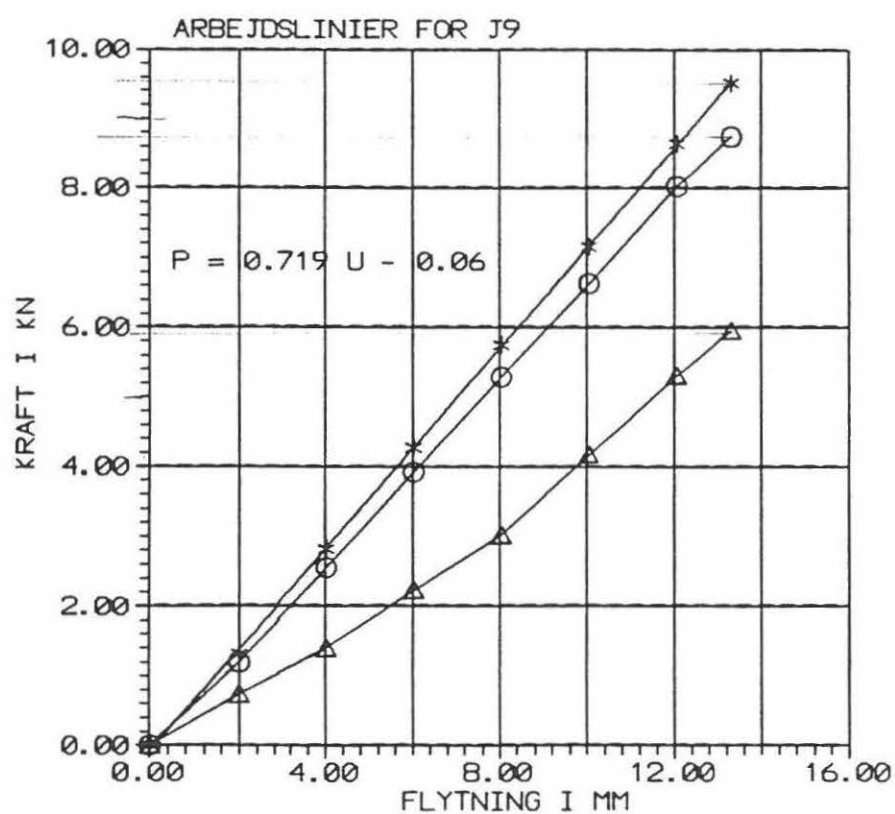
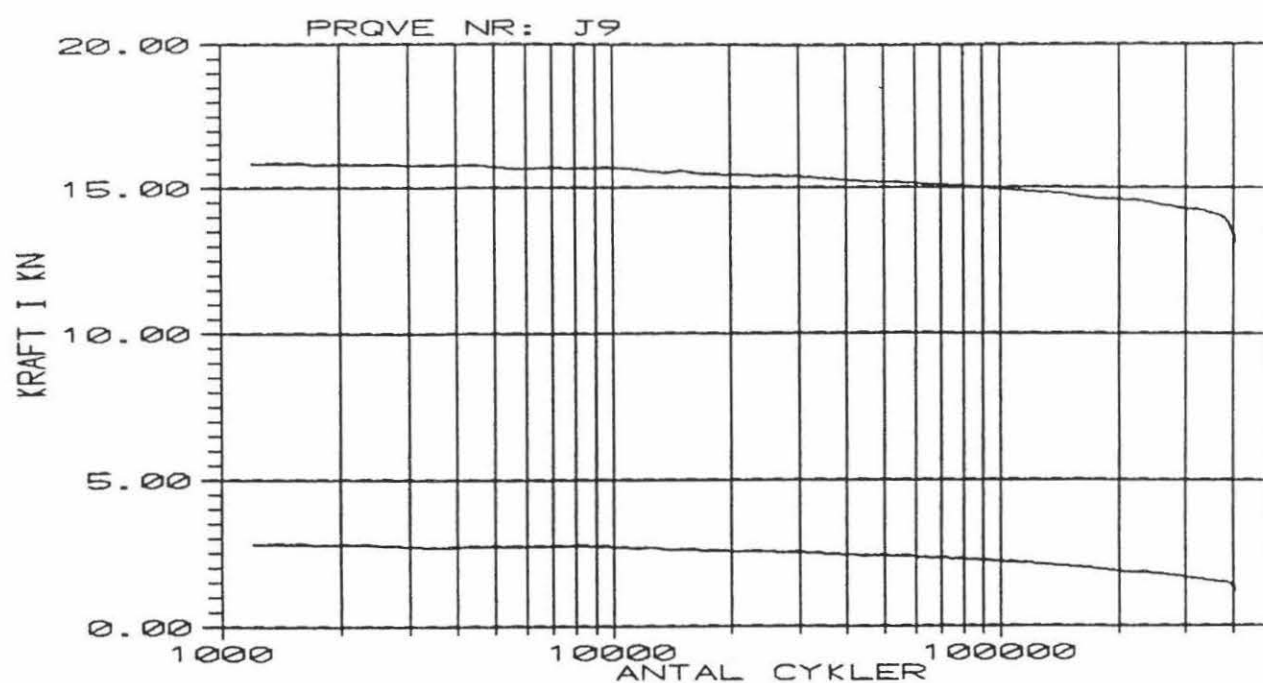


Revne parallel med fibre og parallel med lamel.



0 svarer til forsøgsresultater efter 710.287 cykler.

Figur 2.10 Resultater for bjælke F24.



O svarer til forsøgsresultater efter 404.931 cykler,
 Δ til resultater efter 442.763 cykler.

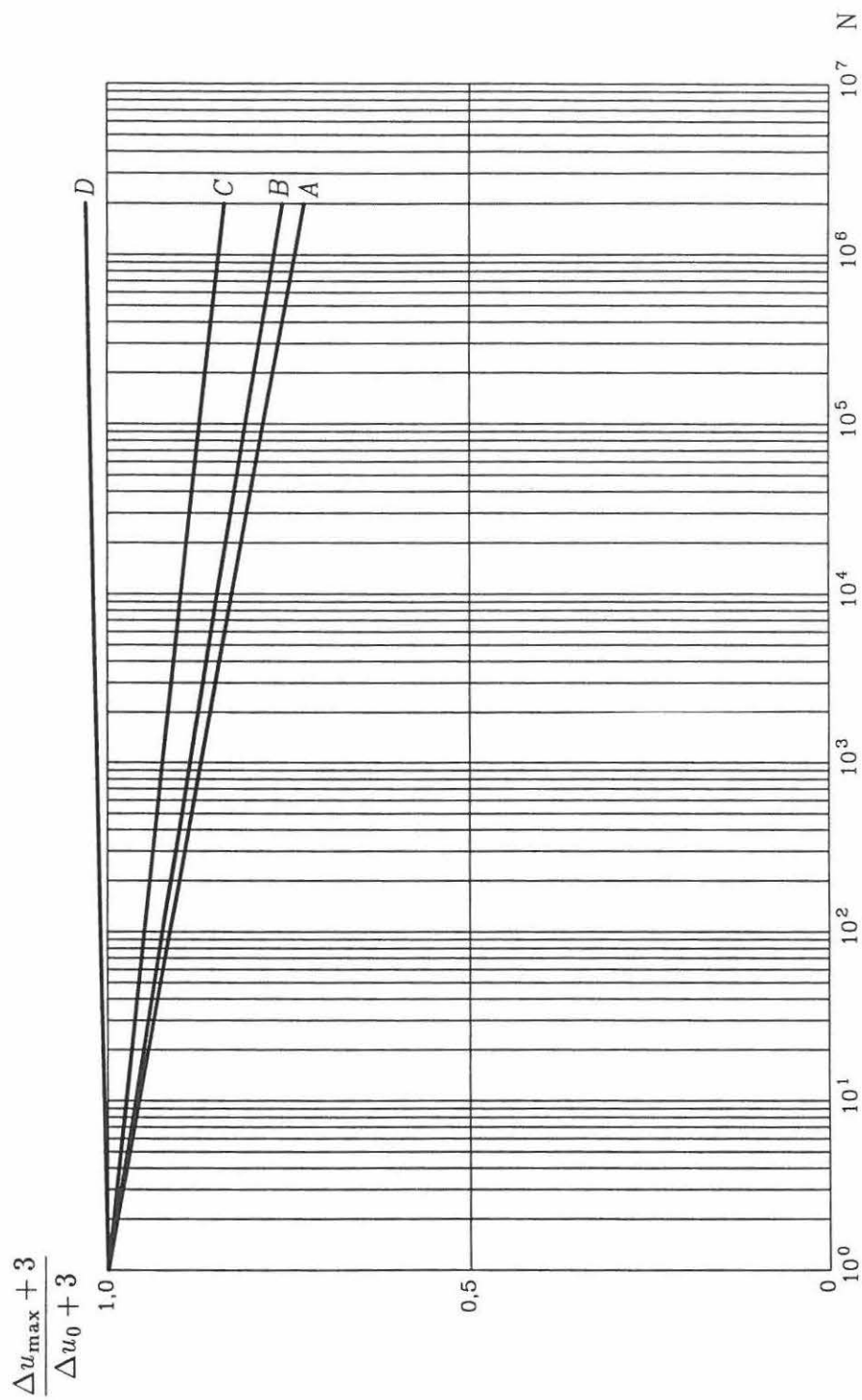
Figur 2.11 Resultater for bjælke J9.

3. VURDERINGER OG KONKLUSIONER

I afsnit 2 i nærværende rapport er der hovedsageligt foretaget sammenligninger af "rå" forsøgsresultater. En lettere bearbejdning af resultaterne er foretaget i det følgende. I afsnit 3.1 er Wöhlerkurverne således normeret, og i afsnit 3.2 er de omregnet til at gælde for kraftdifferenser. Fiberhældningens betydning er igen omtalt i afsnit 3.3, og endelig indeholder afsnit 3.4 nogle afsluttende bemærkninger.

3.1 Normerede Wöhlerkurver

Wöhlerkurverne for serie A, B, C og D, dvs. for bjælker hvis fibre hælder 0, 1:20, 1:10 og 1:5 i forhold til bjælkeaksen, er i figur 3.1 vist på en normeret form. Normeringen er foretaget, så ordinaten er $u_{\max}/u_0 = (\Delta u_{\max} + 3)/(\Delta u_0 + 3)$, hvor Δu_0 er flytningsdifferensen svarende til $N = 1$ og dermed $\log N = 0$. Af figuren fremgår tydeligt, at hældningen af Wöhlerkurven ændres betydeligt, når fiberhældningen ændres, og at man for fiberhældningen 1:5 ligefrem får positiv hældning. Det skal i denne forbindelse nævnes, at den nedre grænse for flytningerne, $u_{\min} = 3$ mm, betyder forholdsmæssigt mere ved serie C og D end ved de øvrige serier. For serie C og D er det størst opnåede udsving $u_{\max} = 16$ mm, dvs. $u_{\max} = 5,3 u_{\min}$, mens man for serie A og B har $u_{\max} = 8,7 u_{\min}$.



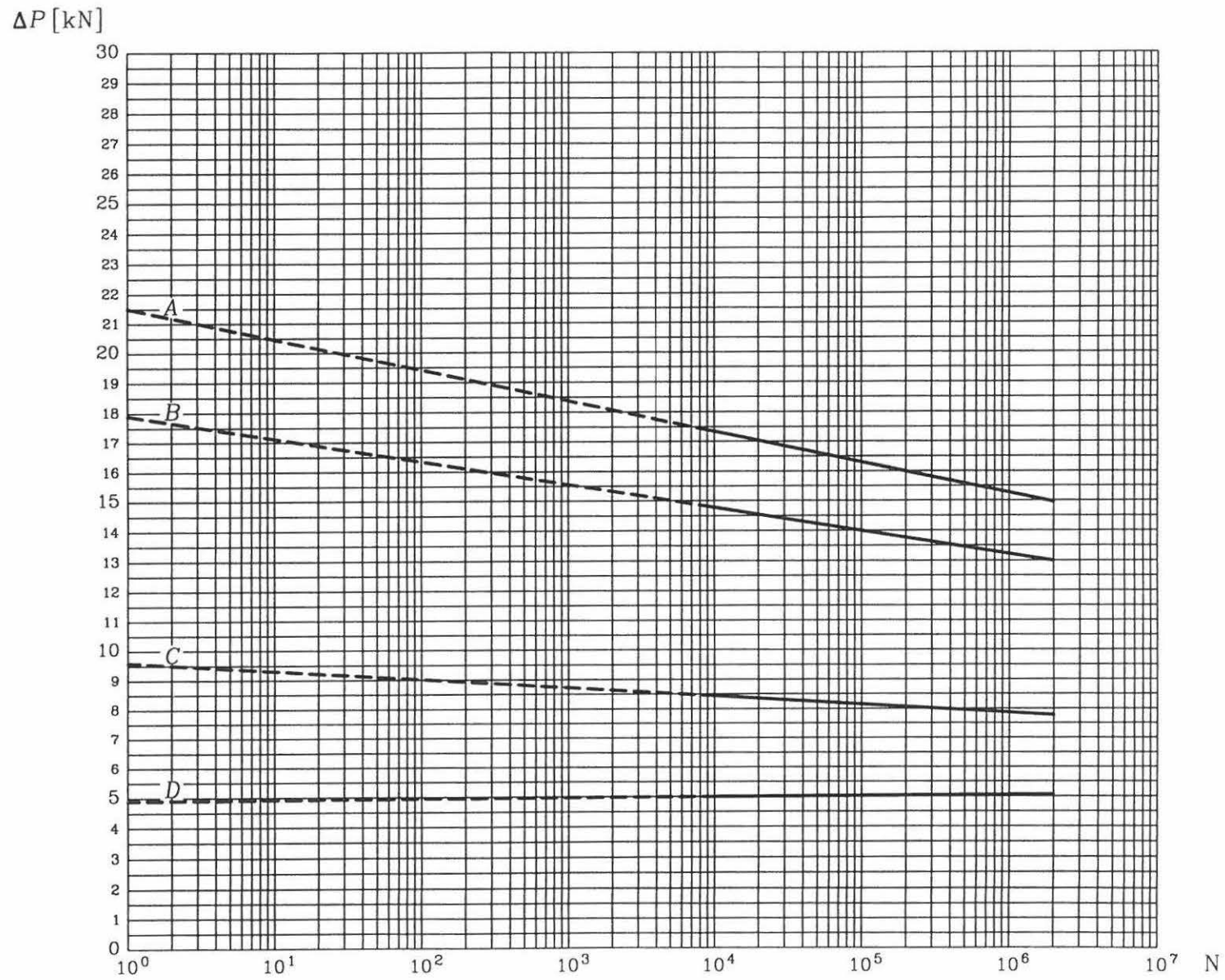
Figur 3.1.1. Normerede Wöhlerkurver for serie A, B, C og D

3.2 Kraftdifferenser

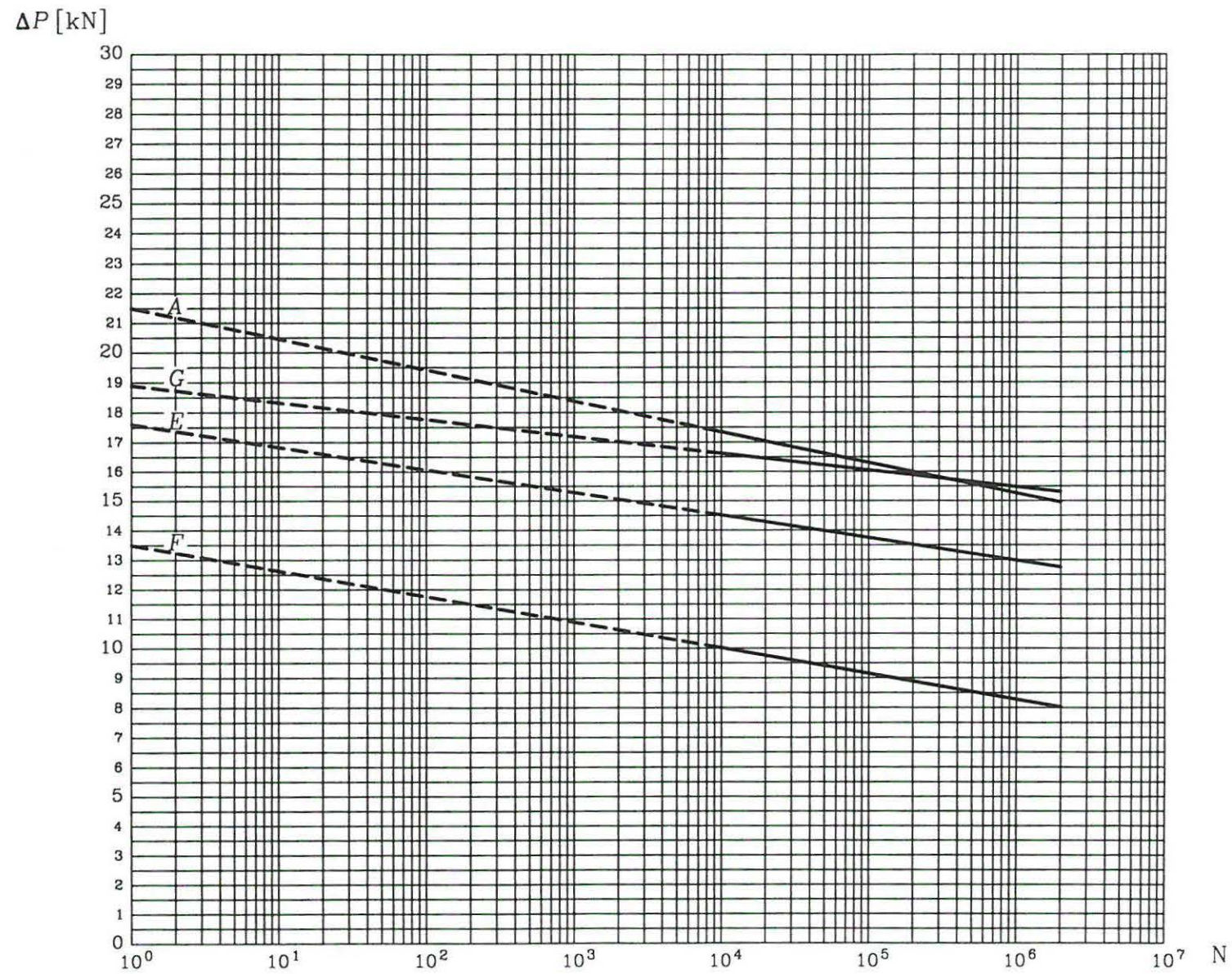
En omregning fra flytningsdifferenser til kraftdifferenser er foretaget derved, at udtrykkene for Wöhlerkurverne anført i afsnit 2.1, 2.2 og 2.3 er multipliceret med den gennemsnitlige værdi af a defineret ved

$$P = au + b$$

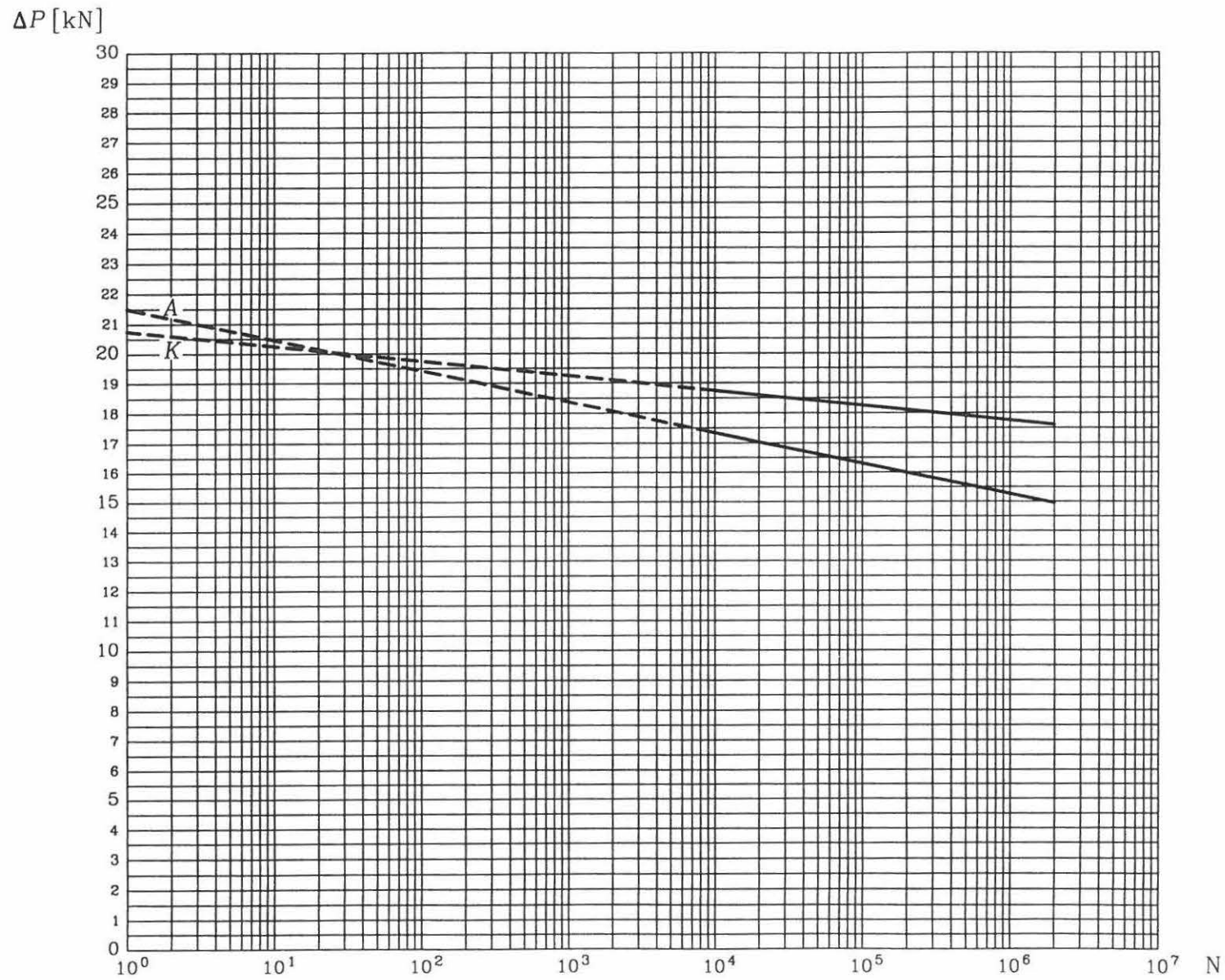
hvor P er kraften, og u er udbøjningen. For de enkelte serier er a anført i tabel 4.1. Disse Wöhlerkurver er vist i figur 3.2, 3.3 og 3.4, der viser det samme billede som Wöhlerkurver baseret på flytningsdifferenser. Af figurene 3.k.2 i de enkelte rapporter fremgår, at a ikke er konstant under forsøgene, men falder lidt. Dette forhold vil medføre, at Wöhlerkurverne omregnet til kraftdifferenser skulle falde lidt kraftigere.



Figur 3.2. Wöhlerkurver for serie A, B, C og D



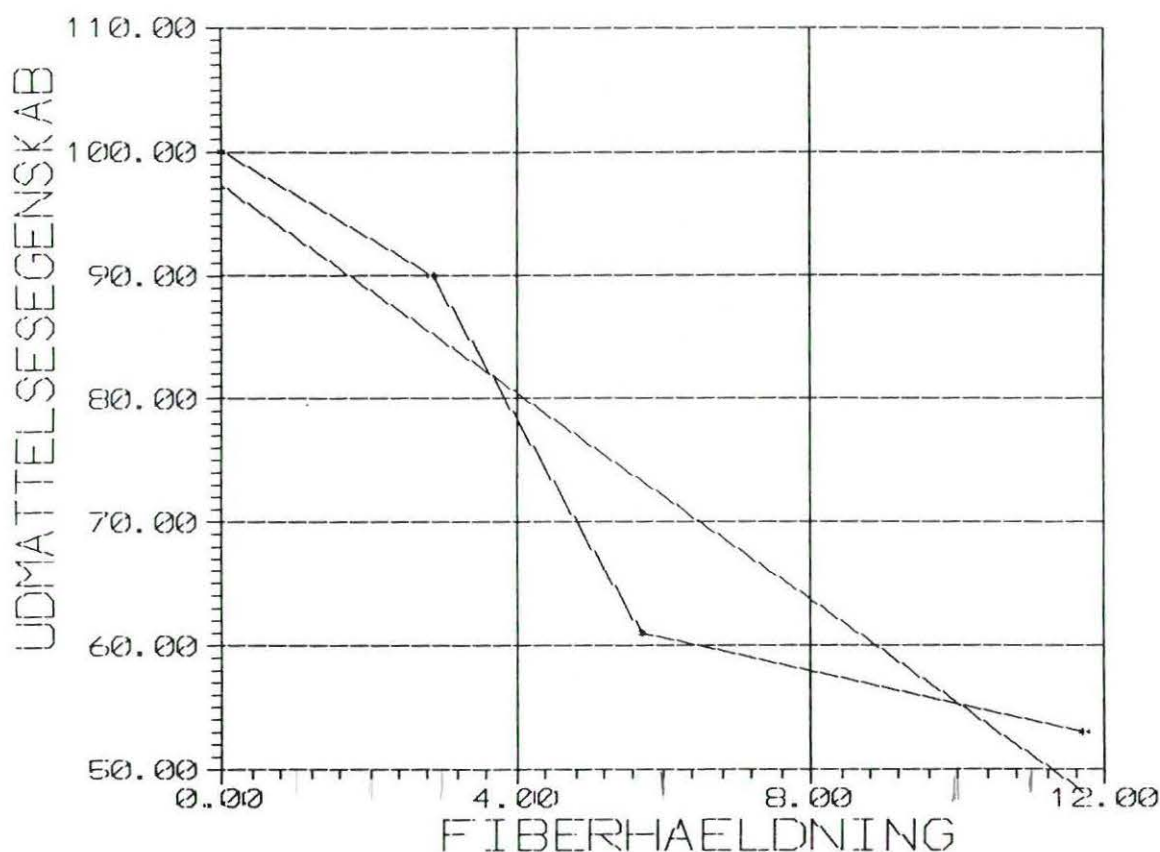
Figur 3.3. Wöhlerkurver for serie A, E, F og G



Figur 3.4. Wöhlerkurver for serie A og K

3.3 Fiberhældningens betydning

I afsnit 2.1 er det omtalt, hvorledes Hankinsons formel kan benyttes til at beregne udmattelsesstyrken ved forskellige fiberhældninger, når udmattelsesstyrken er kendt for bjælker med fibre parallelle med bjælkeaksen. Af figur 3.5 fremgår, at man som en simpel regel kan benytte, at tabet i styrke er ca. 4% pr. grad afvigelse i fiberhældning, gældende fra 0° til 12° .



3.4 Afsluttende bemærkninger

Som sædvanligt når der arbejdes med træ, er der meget stor spredning på forsøgsresultaterne, og det er derfor ikke let at uddrage nogen klar lovmæssig sammenhæng mellem udsvingsvidden og antallet af svingninger til brud. Det er alene derfor, at den simple sammenhæng, den lineære sammenhæng mellem Δu og $\log N$, er benyttet.

I bjælker med fibre parallelle med bjælkeaksen forekommer de to brudformer *stukningsbrud i trykzonen* og *revne parallelt med fibrene* omtrent lige hyppigt, mens brudformen *revne parallelt med fibrene* er absolut dominerende i uforstærkede bjælker med skrå fibre. I bjælker med skrå fibre forstærket med en 5 mm lamel i træksiden optræder stukningsbruddet igen i bjælker med lille fiberhældning (1:20), mens revner parallelt med fibrene dominerer i de øvrige.

4. REFERENCER

- [1] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Indledende udmattelsesforsøg for laminerede limtræbjælker. Serie 1 og 2.* Oktober 1990. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, R9036.
- [2] Arne Rathkjen & Lars Pilegaard Hansen: *Udmattelsesegenskaber for træ herunder lamineret limtræ.* Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, marts 1990.
- [3] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker.* Delrapport 1: Forsøgsbeskrivelse. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, april 1991, R9110.
- [4] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker.* Delrapport 2: Prøvning af serie A. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, marts 1991, R9105.
- [5] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker.* Delrapport 3: Prøvning af serie B. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, maj 1991, R9117.
- [6] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker.* Delrapport 4: Prøvning af serie C. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, juni 1991, R9119.
- [7] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker.* Delrapport 5: Prøvning af serie D. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, januar 1992, R9202.
- [8] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker.* Delrapport 6: Prøvning af serie E. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, juni 1992, R9211.
- [9] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker.* Delrapport 7: Prøvning af serie F. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, juli 1992, R9216.
- [10] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker.* Delrapport 8: Prøvning af serie G. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, september 1992, R9225.

- [11] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 9: Prøvning af serie H og I. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, oktober 1992, R9232.
- [12] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 10: Prøvning af serie J. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, oktober 1992, R9233.
- [13] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 11: Prøvning af serie K. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, oktober 1992, R9234.
- [14] L. Pilegaard Hansen & A. Rathkjen: *Udmattelsesforsøg med laminerede limtræbjælker*. Delrapport 12: Materialeprøvninger. Instituttet for Bygningsteknik, Aalborg Universitetscenter, april 1993, R9313.
- [15] M. P. Nielsen, A. Rathkjen og L. Pilegaard Hansen: *Rapport vedrørende "Brudbetingelser for træ"*. København-Aalborg, 1978.

